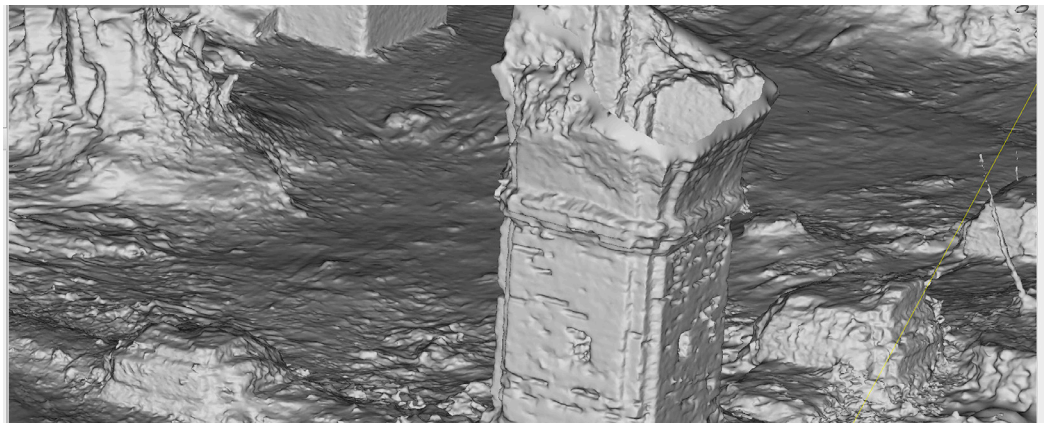
# Oppido Mamertina in 3D: dalla fotogrammetria alla ricostruzione digitale

Sara Gonizzi Barsanti
Santiago Lillo Giner

*Abstract*

L'integrazione tra le tecniche di rilievo 3D e la ricostruzione digitale permette di aumentare la conoscenza e la coscienza di un Bene Culturale. Il suo utilizzo diviene fondamentale quando si vuole non solo studiare un Bene ma anche comunicarlo ai non esperti e renderlo più accessibile e comprensibile. Basare la ricostruzione digitale su un dato accurato come un rilievo tramite tecniche *reality-based*, permette di disporre di una base di dati accurata e precisa, nonché metrica, da cui poi ricavare la ricostruzione. Lo studio della geometria e delle caratteristiche del sito viene avvantaggiato in quanto il rilievo fornisce una base metrica e dettagliata delle caratteristiche dell'edificio rilevato.
Il presente contributo vuole descrivere la metodologia utilizzata per ricostruire in 3D il chiostro medievale dell'antica Oppido Mamertina (RC) partendo dal rilievo tramite tecnica fotogrammetrica. La finalità del lavoro è quella di fornire al Comune e alla Soprintendenza una documentazione accurata del sito, nonché un modello digitale navigabile da poter utilizzare a fini turistici in vista della definizione di un percorso di visita per la valorizzazione del sito.

*Parole chiave*
Fotogrammetria, modellazione 3D, ricostruzione 3D, conoscenza, tecnologie

doi.org/10.3280/oa-832-c132

## Introduzione

Durante la ricerca archeologica ci si trova spesso di fronte alla necessità di registrare, documentare, rilevare e conservare siti ed oggetti di interesse culturale, partendo dal presupposto che la documentazione è un prerequisito per l'analisi, lo studio e l'interpretazione dei manufatti e delle aree archeologiche. Il primo grado di documentazione topografica in ambito archeologico è definito dal cosiddetto rilievo longimetrico o rilievo diretto che comporta operazioni di misurazione a diretto contatto con i manufatti da documentare: un rilievo di questo tipo implica un grande dispendio di tempo e sicuramente non è preciso. Il passo successivo è occupato dall'utilizzo della stazione totale, un teodolite elettronico che comprende all'interno della sua struttura un distanziometro: vi è la possibilità, quindi, di leggere direttamente su un display sia la distanza che le misure angolari; questo strumento è più veloce del rilievo manuale ma è comunque necessario impiegare molto tempo per registrare tutti i punti per un rilievo preciso. Come ultimo grado di documentazione archeologica si possono indicare le misurazioni ottiche in tre dimensioni che rappresentano uno strumento versatile oltre ad avere numerosi vantaggi rispetto alle due tecniche sopra elencate: (1) il tempo impiegato per realizzare il rilievo è decisamente più breve e l'accuratezza è maggiore, (2) possono essere applicate ad una vasta varietà di scale, (3) non necessitando di misurazioni a contatto evitano possibili danni agli oggetti archeologici, (4) il lavoro sul campo non deve essere interrotto per lunghi periodi durante la fase di rilievo, (5) recentemente un'ampia gamma di sensori, prodotti e strumenti sono divenuti disponibili anche a basso costo [Remondino, 2011].

Tre sono le categorie di acquisizione ottica 3D degli oggetti e delle strutture: (1) tecniche basate su sensori passivi (metodi image-based) come per esempio la fotogrammetria [Remondino, El-Hakim, 2006], (2) tecniche basate su sensori attivi (metodi range-based) come per esempio il laser scanning [Böehler et al., 2004] e (3) la combinazione di entrambe le tecniche [El-Hakim et al., 2004; Voltolini et al., 2007; Guarnieri et al., 2006; Gonzo et al., 2007; Guidi et al., 2008a/b]. La scelta della tecnica migliore e più appropriata dipende dall'oggetto o dall'area indagata, dall'esperienza dell'utilizzatore, dal budget, dal tempo a disposizione e dagli obiettivi prefissati.

La fotogrammetria può essere definita "as the process of deriving (usually) metric information about an object through measurement made on photographs of the object." [Mikhail et al. 2001 p. 1]. In altre parole si può definire come "la scienza che permette di ottenere una misura accurata delle caratteristiche geometriche di un oggetto, come dimensioni forma e posizione, attraverso l'impiego congiunto di fotografie che lo ritraggono da posizioni differenti." [Guidi et al. 2010 pp. 17/18].

La tecnica fotogrammetrica, usata da sola o in connessione con il laser scanner, permette di aggiungere ad un'accurata descrizione geometrica in tre dimensioni, la ricchezza fornita dal contenuto radiometrico. Spesso, i rilievi fotogrammetrici sono una soluzione ottimale per eseguire l'indagine in modo economico e in tempi brevi con l'utilizzo di camere non metriche digitali, attentamente calibrate con appropriati e specifici algoritmi e procedure. Il campo dei Beni Culturali trova nelle nuove tecnologie e tecniche un utile alleato non solo nella fase di rilievo su campo, con la possibilità di disporre di vere e proprie rappresentazioni rigorose degli oggetti rilevati, ma anche nella fase successiva, in quanto i modelli rappresentano un potente strumento per lo studio e l'analisi che sono fondamentali per la conservazione e l'eventuale restauro di siti, edifici, strutture ed oggetti. L'utilizzo del 3D consente di aumentare il livello di conoscenza dell'oggetto indagato perché permette di visualizzare un maggior numero di informazioni rispetto ai modelli bidimensionali: in questo modo una maggior quantità di dati viene registrata e messa a disposizione per lo studio del manufatto indagato.

L'utilità del rilievo dei Beni Culturali tramite fotogrammetria consta nella possibilità di ottenere e manipolare un dato metrico 3D accurato e preciso da cui partire per raggiungere diversi tipi di risultati: dalla documentazione, all'analisi, al restauro virtuale, alla visualizzazione e valorizzazione turistica di un sito.

L'utilizzo del dato fotogrammetrico per la ricostruzione digitale di un sito o edificio permette di basare il dato ricostruttivo su base metrica, nonché di avere un aiuto nella determinazione delle geometrie e delle caratteristiche dell'edificio che si sta ricostruendo. Naturalmente, questo passaggio è possibile se è visibile qualche resto del monumento antico, che può essere rilevato.

Il presente articolo si propone di descrivere i passaggi metodologici e logici che hanno guidato il rilievo e la ricostruzione 3D del chiostro medievale dell'antica Oppido Mamertina (RC).

## Oggetto dello studio

L'antica città di Oppido Mamertina si trova alle pendici dell'Aspromonte, immersa in un bosco di rigogliosi ulivi secolari. Circa il 35% del territorio di Oppido è stato dichiarato di rilevante interesse ambientale e incluso all'interno del perimetro del Parco nazionale dell'Aspromonte. Le origini di Oppido sono legate all'antica Mamerto e al popolo dei Mamertini, che portavano questo nome perché ispirati dal dio della guerra Marte: un popolo di mercenari, dedito alla guerra, proveniente dalla Campania e arruolato dal tiranno Agatocle di Siracusa (III secolo a.C). Alcuni di essi si stabilirono nel territorio calabro e messinese; nel III secolo a.C giunsero presso Mella, oggi area archeologica nei pressi di Oppido, e l'abitato fu abbandonato e ripopolato in epoca romana. In questo periodo la città prese il nome di Oppidum, di cui ci restano oggi notevoli testimonianze. Tuttavia, il territorio di Oppido risulta essere stato abitato già durante l'epoca di colonizzazione greca (VII secolo a.C.) [Costamagna, Visonà, 1999]. Il sito archeologico di Mella è una delle grandi attrattive del territorio di Oppido: numerose campagne di scavo, che hanno visto impegnate anche alcune università statunitensi, hanno infatti riportato alla luce ritrovamenti di diverse epoche e di grande interesse archeologico [Liberti, 2003]. I reperti hanno consentito agli studiosi di verificare la presenza di strade lastricate larghe più di 7 metri, lungo le quali si allineavano grandi edifici civili in un contesto culturale pienamente urbanizzato. Le numerose monete emerse, appartenenti alle zecche o autorità di Roma, Metaponto, Valentia, Locri Epizefiri, Rhegion, Catania, Siracusa, e di Cartaginesi in Italia, Bretii e Mamertini, testimoniano i grandi traffici commerciali che interessarono il territorio e le città greche del Sud Italia. L'antica Oppido, probabile erede della mitica Mamerto, sorgeva su una collinetta del cosiddetto altopiano delle Melle, in una zona a cavallo dei fiumi Tricuccio e Cumi e venne riedificata intorno al 1044 [Roma et al., 1998]. La città era ubicata in sito impervio e cinta da robuste mura con un castello di stile aragonese, che ebbe successive integrazioni e modifiche in periodo angioino o addirittura normanno-svevo. Fu inoltre centro diocesi sin dal 1044. Malgrado la posizione erta, fu assalita varie volte nel corso dei secoli, una prima da Ruggero il Normanno nel 1059, dai fratelli Marino e Raimondo Correale tra il 1459 e il 1464 e da Tommaso Barrese, uno dei più feroci luogotenenti degli Aragonesi. Intorno al 1138 vi abitava la regina Massimilla, sorella di Ruggero II. Il grande terremoto del 1783 distrusse Oppido completamente. I morti allora accertati furono 1.198 su 2.408, e, non essendo più possibile riedificare la città sullo stesso sito, dato che gran parte di essa era crollata nel fiume sottostante, si scelse come nuova dimora degli Oppidesi la contrada Tuba. Dell'antico tracciato urbano restano ancora parte delle mura di cinta, delle porte, del castello, della Cattedrale, del chiostro dei Minimi e di case sparse. Quasi nulle sono le informazioni relative al chiostro che è stato rilevato e ricostruito.

## Il rilievo fotogrammetrico

Per il rilievo 3D dei resti dell'area archeologica si è scelto di optare per la fotogrammetria in quanto più agile viste le condizioni del parco archeologico al momento del rilievo: la presenza di grandi alberi di ulivo e la necessità di salire sui muri ha imposto la scelta su una tecnica di rilievo 3D molto più portatile e adattabile. Inoltre, per una questione di documentazione del sito, la soprintendenza ha richiesto il dato radiometrico in aggiunta a quello geometrico. La macchina fotografica utilizzata per il rilievo è una Canon APS-C 60D con obiettivo ad ottica fissa 20mm. Date le condizioni meteorologiche e di illuminazione, si è optato per impostare l'ISO a 250 e l'apertura a 10. Gli scatti infatti sono stati acquisiti durante due giorni di lavoro in cui il sole era molto forte e quindi la quantità di luce molto alta. Queste condizioni hanno creato tutta una serie di problemi relativamente alla correttezza delle immagini. Il sito infatti si trova all'interno di un parco coltivato ad ulivi secolari che, congiuntamente con la giornata soleggiata, hanno creato molte ombre sui muri da rilevare (fig. 01). Inoltre, essendo gli ulivi piantati alle volte sopra le rovine, è stato necessario spostare rami o adattare lo scatto in modo che coprissero il meno possibile le strutture (figg. 02a, 02b). Un altro problema che è stato affrontato ha riguardato alcuni scatti che erano purtroppo contro sole (fig. 03) e che sono stati quindi rifatti varie volte fino a trovare la condizione e soprattutto la posizione di scatto migliore. Alla fine dei due giorni di scatti, è stato comunque possibile acquisire l'intero chiostro e procedere al processamento delle immagini, passaggio che ha richiesto un grande sforzo per poter sistemare le fotografia a causa dei problemi sopraindicati. Il primo passo è stato quello relativo alla sistemazione dei file RAW in Lightroom per limitare le sovraesposizioni e i punti troppo scuri o troppo chiari dovuti all'alternarsi ombre/luci. Il processo di creazione della mesh è stato sviluppato con il software SfM Agisoft Metashape mantenendo alti i parametri di allineamento immagini e creazione della dense cloud. La mesh è stata costruita impostando come valori per il numero finale di poligoni 10 mil e l'accuratezza finale conta di un GSD di 0.5 mm. La mesh è stata poi scalata utilizzando il software Polyworks usando come reference il DTM creato tramite volo con drone attrezzato con uno strumento Lidar e il risultato dell'allineamento del prodotto fotogrammetrico con quello Lidar ha ottenuto una standard deviation di 3 mm. Il valore è stato considerato accettabile considerando l'ampiezza del sito e soprattutto la differente accuratezza dei dati utilizzati, nonché il fine ultimo per cui è stato prodotto, e cioè documentazione del sito e ricostruzione dell'edificio.

a

b

Fig. 01. Problemi relativi alla troppa illuminazione del sito: sono ben visibili, sulla stessa muratura, aree molto illuminate e altre estremamente in ombra (foto degli autori)

Fig. 02a, 02b Presenza di alberi nel sito che coprivano le strutture murarie (a) e escamotage utilizzato per avere una visino migliore delle strutture nelle immagini (b) (foto degli autori)

Bisogna sottolineare che non vi sono dati bibliografici approfonditi riguardanti l'area indagata e quindi i rilievi fotogrammetrico e Lidar sono stati i primi dati accurati che la Soprintendenza ha potuto ottenere. Il modello completo è stato esportato in obi e utilizzato sia per documentazione che come base per la ricostruzione 3D del complesso (fig. 4).

## La ricostruzione 3D del complesso

La ricostruzione 3D del sito archeologico è stata richiesta dalla soprintendenza nell'ottica di un percorso turistico che hanno intenzione di approntare nel sito. Ha quindi valore strettamente divulgativo.Partendo dal dato fotogrammetrico, si è proceduto alla moderazione in Autodesk Revit del complesso. Fortunatamente, sono ancora visibili un pilastro angolare che ha dato le informazioni relative alla copertura del passaggio coperto del chiostro, le basi degli altri pilastri e i muri perimetrali, che hanno fornito, rispettivamente, la larghezza del corridoio e la luce delle arcate (figg. 05, 06). Si è deciso di utilizzare il software Revit per la possibilità di moderazione parametrica che offre diversi vantaggi: i pilastri e le altre strutture modellate sono state raccolte in famiglie specifiche, il che ha permesso, nel caso di modifiche, di operare su tutti gli elementi della determinata famiglia anziché singolarmente.
Per quanto riguarda la fase di modellazione, si è svolta attraverso i seguenti passaggi:

Fig.03 Esempio di scatto contro sole. In questo caso le immagini sono state scattate ripetutamente fino a trovare la soluzione ottimale per evitare i bagliori che avrebbero compromesso l'accuratezza del modello finale (foto degli autori)

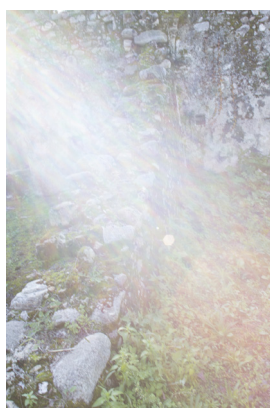



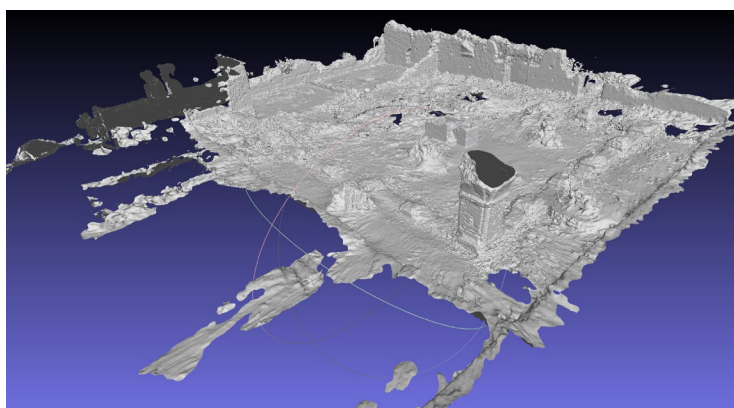
Fig.04 Modello finale da rilievo fotogrammetrico (elaborazione degli autori)

In primo luogo, la mesh poligonale obj è stata dimensionata sulla base dei dati rilevati e scalati;
La mesh poligonale in formato obj è stata importata nel programma Revit per eseguire la modellazione. C'è la possibilità di procedere all'importazione diretta tramite script e comandi Dynamo, tuttavia nel nostro caso abbiamo scelto di importare il file nel programma Autodesk 3DS Max per convertirlo in formato dxf, dopo aver eliminato i corrispondenti poligoni all'interno del patio per ridurre le dimensioni del file, e poi importare questo file in Revit. Una volta che la mesh poligonale è stata importata in Revit, è stato modellato il chiostro. Nonostante gli elementi a disposizione siano scarsi, il fattore ripetizione ha consentito, di ottenere i modelli dei pilastri angolari e interni, l'estrapolazione dei modelli base e il resto degli elementi.
Pertanto, per la modellazione dei pilastri angolari, sono state utilizzate masse "in situ". In primo luogo, la base è stata modellata con due diverse masse "in situ" e si è poi proseguito con il corpo del pilastro e del capitello, utilizzando la stessa metodologia. I corpi dei restanti pilastri interni e le loro basi hanno permesso di dedurne la forma (figg. 07, 08), collocandoli rispetto al pilastro d'angolo iniziale e configurando così l'insieme complessivo degli elementi esterni del chiostro. Il fatto che la muratura in laterizio sia visibile nei resti a disposizione e che la distanza tra i pilastri sia facilmente ricavabile dal rilievo fotogrammetrico, ha permesso di modellare con una certa precisione gli archi esterni, configurando così la facciata principale del chiostro.

Fig.05 Pilastro angolare ancora visibile in situ (elaborazione degli autori)

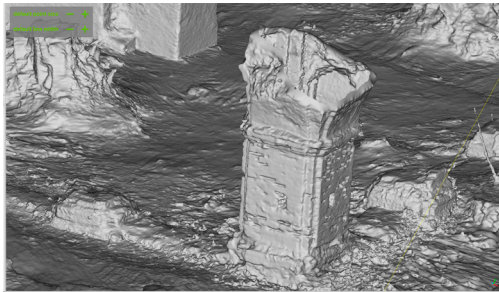



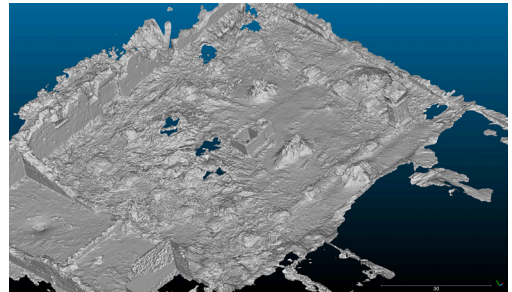
Fig.06 Presenza delle basi degli altri pilastri e dei muri perimetrali che hanno permesso di ricostruire la larghezza e l'altezza delle coperture (elaborazione degli autori)

Grazie alla presenza di parte delle pareti del deambulatorio e di alcuni resti dell'inizio degli archi visibili (figg. 09a, 09b), nonché alle indicazioni offerte dalla parte superiore del pilastro d'angolo, è stato possibile dedurre la forma e le dimensioni del tetto in questa parte del chiostro, che è stata modellata come una serie di volte a crociera tra archi trasversali semicircolari costruiti con mattoni. Per la modellazione di queste volte è stata utilizzata la tecnica della massa "in situ" formata dall'intersezione di due semi cilindri, e la copertura "per faccia" (figg. 09b, 10).
Il calcolo per ricostruire il complesso si è basato principalmente sui dati fotogrammetrici: avendo a disposizione le basi dei pilastri si è potuto ricavare la distanza tra di essi, il pilastro ad angolo e le tracce degli archi sulla muratura di fondo hanno invece consentito di calcolare la luce delle volte e la loro geometria, in quanto gli attacchi della base delle volte sono desumibili dai resti rilevati. Per quanto riguarda i materiali, il mattone è stato utilizzato come elemento principale per le basi, il fusto e il capitello dei pilastri e degli archi della facciata e delle nervature trasversali delle volte. Per le pareti, realizzate in muratura e le volte a crociera, è stato considerato come materiale esterno un intonaco di colore casuale, che potrebbe essere malta di calce nel caso delle pareti (fig. 11).
La texture del modello ricostruito è stata determinata in base sia ai resti visibili sul terreno, che hanno specificato l'utilizzo di laterizi per la costruzione, sia su base ipotetica, seguendo le richieste della Soprintendenza. La texture in mattoni è stata applicata utilizzandone una generica ed è stato deciso di utilizzare due diverse caratterizzazioni per poter mostrare le diverse possibilità di visualizzazione. La rappresentazione grafica del pavimento invece è del tutto ipotetica ed è stata decisa dai tecnici della soprintendenza.

Fig.07 Ricostruzione 3D dei pilastri (elaborazione degli autori)

Fig. 08 Ricostruzione del porticato (elaborazione degli autori)

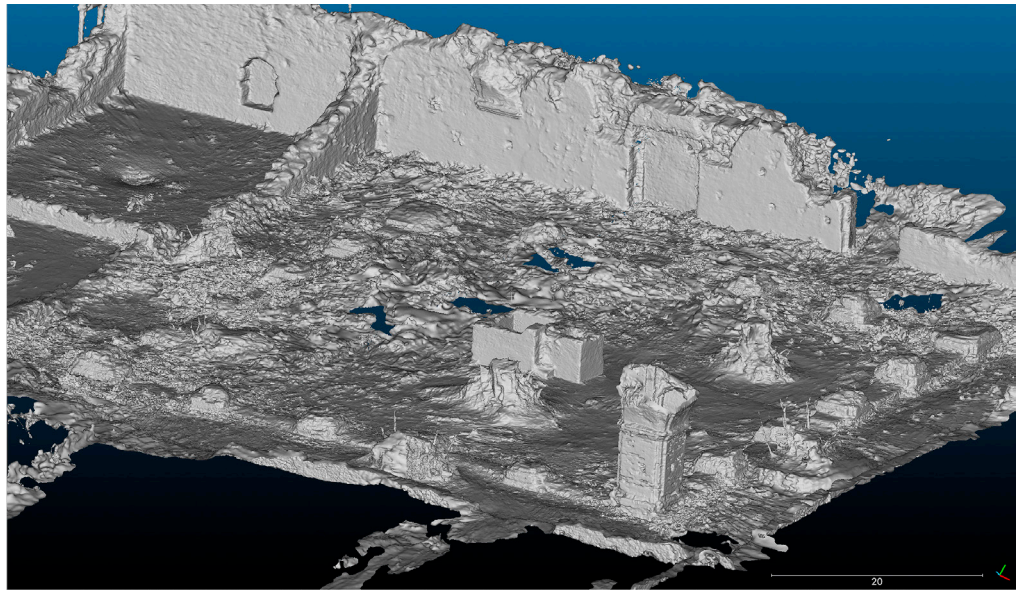
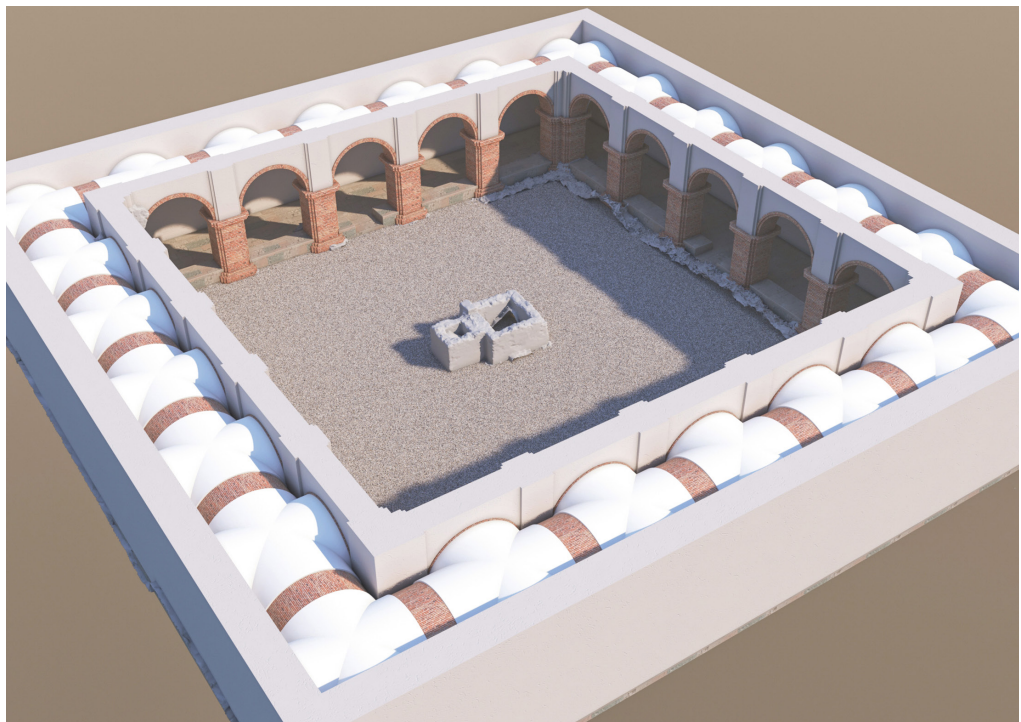
a

b

Fig.09 a-b Informazioni relative alla copertura desumibili dal rilievo 3D: Impronta degli archi, punti di attacco delle volte nel pilastro ad angolo (elaborazione degli autori)

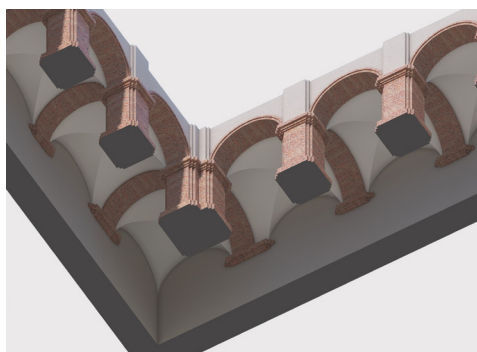



Fig.10 Le volte di copertura (elaborazione degli autori)

Fig. 11 Ricostruzione del complesso nella sua totalità e indicazione dei materiali (elaborazione degli autori)

## Conclusioni

L'integrazione del rilievo reality-based per la documentazione dei Beni Culturali e la ricostruzione matematica delle strutture rilevate è di enorme importanza per la valorizzazione di siti antichi. Questo è ancor più importante quando questi siti si trovano in zone difficilmente raggiungibili o che hanno problemi economici nell'approntare percorsi turistici attrezzati per rendere visitabili i luoghi. Utilizzando il modello 3D del reale, la ricostruzione ha potuto basarsi su dati metrici accurati che hanno fornito elementi fondamentali: non sono serviti infatti difficili calcoli matematici per la creazione della copertura, per esempio, perché avendo a disposizione resti in situ, il rilievo di essi ha fornito la base grafica 3D su cui approntare la ricostruzione. Procedendo con il rilievo fotogrammetrico dell'area, la successiva ricostruzione si è potuta basare su un dato accurato e metrico del reale, che ha permesso di facilitare l'analisi dei resti e la comprensione della struttura in alzato, nonché i calcoli matematici e la definizione delle coperture. Bisogna sottolineare che in questo caso si è stati avvantaggiati dalla presenza di un pilastro angolare e delle impronte delle arcate di copertura su un muro perimetrale. Sicuramente, l'utilizzo del rilievo fotogrammetrico ha permesso di velocizzare il processo. Naturalmente alcune parti sono state ipotizzate, sempre però seguendo le indicazioni dei tecnici della soprintendenza che hanno fornito i dati a loro ipotesi più adeguati. Le distinzioni tra dato rilevato, dato desunto da informazioni metriche e dato ipotizzato saranno poi evidenziate in futuro se e quando il modello sarà utilizzato per il percorso turistico. Il processo di ricostruzione verrà spiegato e saranno chiariti i processi che hanno permesso di ottenere il risultato finale. Il lavoro futuro si riferirà ad una migliore modellazione 3D dell'intero complesso, soprattutto riguardo la texture che verrà basata su dati reali ed eventuali nuove informazioni ricevute dai tecnici della Soprintendenza.

**Riferimenti bibliografici**

Böhler, W., Marbs, A. (2004). *3D scanning and photogrammetry for heritage recording: a comparison*. Proceedings of 12th Int. Conf. on Geoinformatics, 7-9 June 2004, Gävle, Sweden, 2004, pp. 291-298

Costamagna, Liliana, and Paolo Visonà, eds. (1999). *Oppido Mamertina: Calabria, Italia: ricerche archeologiche nel territorio e in contrada Mella*. Gangemi Editore, Roma.

El-Hakim, S., Gonzo, L. Voltolini, F., Girardi, S., Rizzi, A., Remondino, F., Whiting, E. (2007) *Detailed 3D modeling of castles,* International Journal of Architectural Computing, Vol. 5(2), 2007, pp. 199-220.

Guarnieri, A., Pirotti, F., Pontin, M. & Vettore, A. (2005). C*ombined 3D surveying techniques for structural analysis applications*. International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 36, 6.

Guidi, G., Remondino, F., Russo, M., Menna, F., Rizzi, A., Ercoli, S. (2009). *A Multi-Resolution methodology for the 3D modelling of large and complex archaeological areas.* International Journal of Architectural Computing, Vol. 7(1), pp. 39-55

Guidi, G., Russo, M., Beraldin, J.A. (2010). *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, New York, Milano: Mcgraw Hill.

Lenormant, F. (1976). *La Magna Grecia*, Chiaravalle Centrale, II, p. 27

Liberti, R. (2003). *Momenti e figure nella storia della vecchia e nuova Oppido*-VI-Quaderni Mamertini n. 45, Litografia Diaco snc, Bovalino (RC)

Mikhail, E. M., Bethel, J.S., McGlone, J. C. (2001). *Introduction to modern photogrammetry*, John Wiley & Sons, inc.

Remondino, F. (2011). *Heritage Recording and 3D Modelling with Photogrammetry and 3D Scanning.* Remote Sensing, Vol. 3, pp. 1104-1138

Remondino, F., El-Hakim, S. (2006). *Image-based 3D Modelling: a Review*. Photogrammetric Record, 21 (115), 2006, pp. 269-291.

Roma, G., Coscarella, A., Gallo, P., La marca, A., Lanza, G. (1998). *Oppido Mamertina (RC): la cattedrale di Oppido Vecchio (campagna di scavo 1996*, Archeologìa postmedievale società ambiente produzioni n. 2, pp. 75-106.

Voltolini, F., El-Hakim, S., Remondino, F., Girardi, S., Rizzi, A., Pontin, M., Gonzo, L. (2007). D*igital Documentation of Complex Architectures by Integration of Multiple Techniques – The case Study of Valer Castle*. Videometrics IX (San Diego, USA, 29-30 gennaio 2007) Proc. SPIE-IS&T Electronic Imaging, Vol. 6491, 2007.

**Autori**
*Sara Gonizzi Barsanti,* Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli
sara.gonizzibarsanti@unicampania.it
*Santiago Lillo Giner,* Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universitat Politècnica de València, España, sanlilgi@ega.upv.es

*Per citare questo capitolo:* Gonizzi Bersanti Sara, Lillo Giner Santiago (2022). Oppido Mamertina in 3D: dalla fotogrammetria alla ricostruzione digitale/Oppido Mamertina in 3D: from photogrammetry to digital reconstruction. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers.* Milano: FrancoAngeli, pp. 2074-2089.

 Isbn 9788835141938

# Oppido Mamertina in 3D: from photogrammetry to digital reconstruction

Sara Gonizzi Barsanti
Santiago Lillo Giner

*Abstract*

The integration between 3D survey techniques and digital reconstruction allows to increase the knowledge and awareness of a Cultural Heritage. Its use becomes fundamental not only to study an ancient building or artefact, but also to communicate it to non-experts and make it more accessible and understandable. Basing the digital reconstruction on an accurate data such as a survey using reality-based techniques, allows to have an accurate and precise data base, as well as metrics, from which the reconstruction can be derived. The study of the geometry and characteristics of the site is favoured as the survey provides a metric and detailed basis of the characteristics of the building surveyed.
This contribution aims at describing the methodology used to reconstruct the medieval cloister of ancient Oppido Mamertina (RC) in 3D, starting from the survey using a photogrammetric technique. The purpose of the work is to provide the Municipality and the Superintendency with accurate documentation of the site, as well as a navigable digital model that can be used for tourism purposes in view of the definition of a visit path for the enhancement of the site.

*Keywords*
Photogrammetry, 3D modelling, 3D reconstruction, knowledge, technologies

doi.org/10.3280/oa-832-c132

## Introduction

During archaeological research we are often faced with the need to record, document, detect and preserve sites and objects of cultural interest, starting from the assumption that documentation is a prerequisite for the analysis, study and interpretation of artefacts and of the archaeological areas. The first degree of topographical documentation in the archaeological field is defined by the so-called longimetric survey or direct survey which involves measurement operations in direct contact with the artefacts to be documented: a survey of this type involves a great waste of time and is certainly not accurate. The next step is occupied by the use of the total station, an electronic theodolite that includes a distance meter within its structure: this tool is faster than manual survey, but it still takes a long time to record all points for a precise survey. As a last degree of archaeological documentation we can indicate the optical measurements in three dimensions which represent a versatile tool as well as having numerous advantages compared to the two techniques listed above: (1) the time taken to carry out the survey is decidedly shorter and the accuracy is greater, (2) they can be applied to a wide variety of scales, (3) as they do not require contact measurements, they avoid possible damage to archaeological objects, (4) field work must not be interrupted for long periods during the survey, (5) a wide range of sensors, products and tools have also become available at low cost [Remondino 2011].
There are three categories of optical 3D acquisition of objects and structures: (1) techniques based on passive sensors (image-based methods) such as photogrammetry [Remondino, El-Hakim, 2006], (2) techniques based on sensors active (range-based methods) such as laser scanning [Böehler, Marbs, 2004] and (3) the combination of both techniques [El-Hakim et al., 2007; Voltolini et al., 2007; Guarnieri et al., al., 2006; Guidi et al., 2009]. The choice of the best and most appropriate technique depends on the object or area investigated, the user's experience, the budget, the time available and the objectives set.
Photogrammetry can be defined as "as the process of deriving (usually) metric information about an object through measurement made on photographs of the object." [Mikhail et al., 2001 p. 1]. In other words, it can be defined as "the science that allows you to obtain an accurate measurement of the geometric characteristics of an object, such as size, shape and position, through the joint use of photographs that portray it from different positions." [Guidi et al., 2010 pp. 17/18].
The photogrammetric technique, used alone or in connection with the laser scanner, allows to add the richness provided by the radiometric content to an accurate geometric description in three dimensions. Often, photogrammetric surveys are an optimal solution for carrying out the survey economically and quickly with the use of digital non-metric cameras, carefully calibrated with appropriate and specific algorithms and procedures. The field of Cultural Heritage finds in new technologies and techniques a useful ally not only in the survey phase, with the possibility of having real rigorous representations of the objects detected, but also in the subsequent phase, as the models represent a powerful tool for the study and analysis that are fundamental for the conservation and eventual restoration of sites, buildings, structures and objects. The use of 3D allows to increase the level of knowledge of the object investigated because it allows to view a greater number of information than two-dimensional models: in this way a greater amount of data is recorded and made available for the study of the investigated artefact.
The usefulness of the survey of Cultural Heritage through photogrammetry consists in the possibility of obtaining and manipulating an accurate and precise 3D metric data from which to start to achieve different types of results: from documentation, to analysis, to virtual restoration, to visualisation and tourist enhancement of a site.
The use of photogrammetric data for the digital reconstruction of a site or building allows to base the reconstructive data on a metric basis, as well as help in determining the geometries and characteristics of the building that is being rebuilt. Of course, this step is possible if some remnant of the ancient monument is visible, which can be detected.
This article aims to describe the methodological and logical steps that guided the survey and 3D reconstruction of the medieval cloister of the ancient Oppido Mamertina (RC).

## Case Study

The ancient city of Oppido Mamertina is located on the slopes of the Aspromonte, immersed in a wood of luxuriant centuries-old olive trees. About 35% of the territory of Oppido has been declared of significant environmental interest and included within the perimeter of the Aspromonte National Park.
The origins of Oppido are linked to the ancient Mamerto and to the people of the Mamertines, who bore this name because they were inspired by the god of war Mars: a people of mercenaries, dedicated to war, coming from Campania and enlisted by the tyrant Agatocle of Syracuse (III century B.C). Some of them settled in the Calabrian and Messina area. In the third century BC they reached Mella, today an archaeological area near Oppido, and the town was abandoned and repopulated in Roman times. In this period the city took the name of Oppidum, of which there remain today notable testimonies. However, the territory of Oppido appears to have been inhabited already during the era of Greek colonization (7th century BC) [Costamagna, Visonà, 1999.
The archaeological site of Mella is one of the great attractions of the territory of Oppido: numerous excavation campaigns, which have also involved some US universities, have in fact brought to light finds from different eras and of great archaeological interest [Liberti, 2003]. The finds allowed scholars to verify the presence of paved streets more than 7 meters wide, along which large civil buildings lined up in a fully urbanized cultural context. The numerous coins that emerged, belonging to the mints or authorities of Rome, Metaponto, Valentia, Locri Epizefiri, Rhegion, Catania, Syracuse, and of Carthaginians in Italy, Bretii and Mamertini, testify to the great commercial traffic that affected the territory and the Greek cities of Southern Italy.
The ancient Oppido, probable heir of the mythical Mamerto, stood on a hill of the so-called Melle plateau, in an area straddling the Tricuccio and Cumi rivers and was rebuilt around 1044 [Roma et al., 1998]. The city was in an inaccessible site and surrounded by robust walls with an Aragonese-style castle, which had subsequent additions and modifications in the Angevin or even Norman-Swabian period. It was also a diocese centre since 1044. Despite its steep position, it was attacked several times over the centuries, first by Ruggero the Norman in 1059, by the brothers Marino and Raimondo Correale between 1459 and 1464 and by Tommaso Barrese, one of the fiercest lieutenants of the Aragonese. Around 1138, Queen Massimilla, sister of Ruggero II, lived there. The great earthquake of 1783 destroyed Oppido. The deaths then ascertained were 1,198 out of 2,408, and, as it was no longer possible to rebuild the city on the same site, given that much of it had collapsed into the river below, the Tuba district was chosen as the new home of the Oppidesi.
Of the ancient urban layout there are still part of the surrounding walls, the gates, the castle, the Cathedral, the cloister of the Minims and scattered houses. The information relating to the cloister which has been surveyed and rebuilt is almost nil.

## The photogrammetric survey

For the 3D survey of the remains of the archaeological area it was decided to opt for photogrammetry as it is more agile given the conditions of the archaeological park at the time of the survey: the presence of large olive trees and the need to climb the walls forced to the choice on a much more portable and adaptable 3D survey technique. Furthermore, as a matter of site documentation, the superintendency requested the radiometric data in addition to the geometric one.
The camera used for the survey is a Canon APS-C 60D with a 20 mm fixed lens. Given the weather and lighting conditions, it was decided to set the ISO at 250 and the aperture at 10. The shots were in fact acquired during two days of work in which the sun was very strong and therefore the amount of light was very high.
These conditions have created a whole series of problems regarding the correctness of the images. The site is in fact located within a park planted with centuries-old olive trees which, together with the sunny day, have created many shadows on the walls to be surveyed (fig. 01).

a

b

Fig.01. Problems related to the lighting of the site: very brightly lit areas and other extremely shaded areas are clearly visible on the same masonry (photo by the authors)

Fig. 02a, 02b. Presence of trees in the site that covered the wall structures (a) and trick used to have a better view of the structures in the images (b) (photo by the authors)

Furthermore, since the olive trees were planted at the vaults above the ruins, it was necessary to move branches or adapt the shot so that they covered the structures as little as possible (figs. 02a, 02b). Another problem that was faced concerned some shots that were unfortunately against the sun (fig. 03) and which were then redone several times until the best shooting position and condition were found. At the end of the two days of shooting, it was still possible to acquire the entire cloister and proceed with the processing of the images, a step that required a great deal of effort to be able to fix the photos due to the aforementioned problems. The first step was related to the arrangement of RAW files in Lightroom to limit overexposure and too dark or too light points due to alternating shadows / lights. The mesh creation process was developed with SfM Agisoft Metashape software while maintaining high image alignment and dense cloud creation parameters. The mesh was built by setting as values for the final number of polygons 15 mil and the final accuracy counts a GSD of 0.5 mm. The mesh was then scaled using the Polyworks software using as a reference the DTM created by flight with a drone equipped with a Lidar instrument and the result of the alignment of the photogrammetric product with the Lidar one obtained a

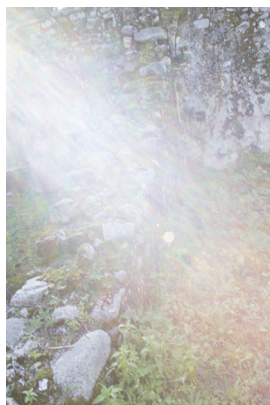



Fig. 03 Example of shooting against the sun. In this case, the images were taken repeatedly until the optimal solution was found to avoid the glare that would have compromised the accuracy of the final model (photo by the authors)

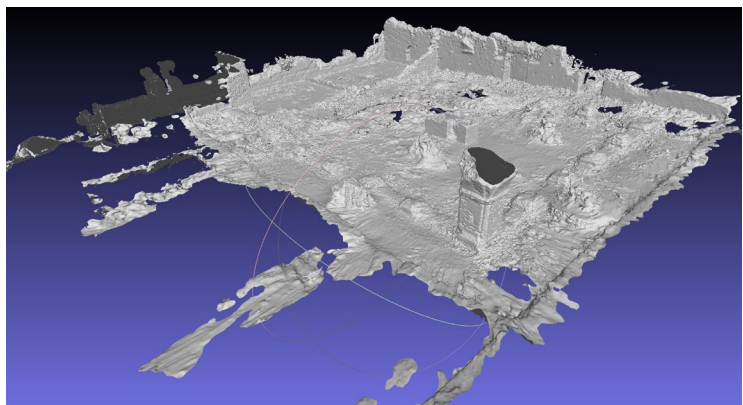



Fig. 04 Final model from photogrammetric survey (elaboration by the authors)

standard deviation of 3 mm. The value was considered acceptable considering the size of the site and above all the different accuracy of the data used, as well as the ultimate purpose for which it was produced, namely site documentation and building reconstruction. It must be emphasized that there are no in-depth bibliographic data concerning the investigated area and therefore the photogrammetric and Lidar surveys were the first accurate data that the Superintendency was able to obtain. The complete model was exported to obi and used both for documentation and as a basis for the 3D reconstruction of the complex (fig. 04).

### The 3D reconstruction of the archaeological area

Starting from the photogrammetric data, the building was moderated in Autodesk Revit. Fortunately, an angular pillar is still visible which gave the information relating to the coverage of the covered passage of the cloister, the bases of the other pillars and the perimeter walls, which provided, respectively, the width of the corridor and the span of the arches (figs. 05, 06).
It was decided to use the Revit software due to the possibility of parametric moderation that it offers: in this way the pillars and other modelled structures were collected in specific families, which allowed, in the case of modifications, to operate on all the elements of the specific family rather than individually.

Fig. 05 Angular pillar still visible in situ (elaboration by the authors)

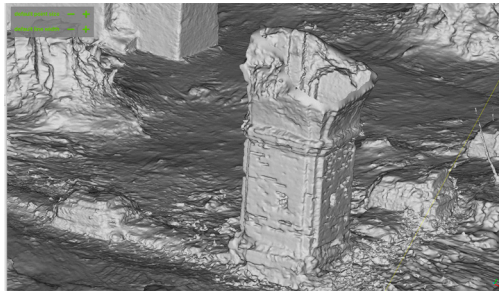



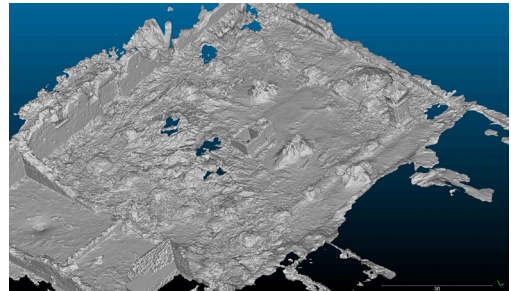
Fig. 06 Presence of the bases of the other pillars and the perimeter walls which made it possible to reconstruct the width and height of the roofs (elaboration by the authors)

As for the modelling phase, it took place through the following steps:
• Firstly, the polygon mesh obj was sized on the basis of the detected and scaled data;
• The polygon mesh in obj format was imported into the Revit program for modelling. There is the possibility of proceeding with direct import using Dynamo scripts and commands, however in our case we have chosen to import the file into the Autodesk 3DS Max program to convert it into dxf format, after having deleted the corresponding polygons inside the patio to reduce the file size, and then import this file into Revit.
• Once the polygon mesh was imported into Revit, the cloister was modelled. Although the elements available are scarce, the repetition factor made it possible to obtain the models of the angular and internal columns, the extrapolation of the basic models and the rest of the elements.
Therefore, "in situ" masses were used for the modelling of the corner columns. First, the base was modelled with two different masses "in situ" and we then continued with the body of the pillar and the capital, using the same methodology.
The bodies of the remaining internal pillars and their bases made it possible to deduce their shape (Figg. 07, 08), placing them with respect to the initial corner pillar and thus configuring the overall set of external elements of the cloister. The fact that the brick masonry is visible in the remains available and that the distance between the pillars can be easily deduced from the photogrammetric survey, has allowed the external arches to be modelled with some precision, thus configuring the main facade of the cloister.
Thanks to the presence of part of the walls of the ambulatory and some remains of the beginning of the visible arches (Figs. 09a, 09b), as well as to the indications offered by the

Fig. 07 3D reconstruction of the pillars (elaboration by the authors)

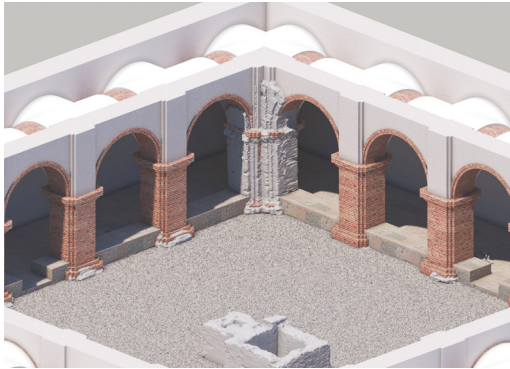



Fig. 08 Reconstruction of the portico (elaboration by the authors)

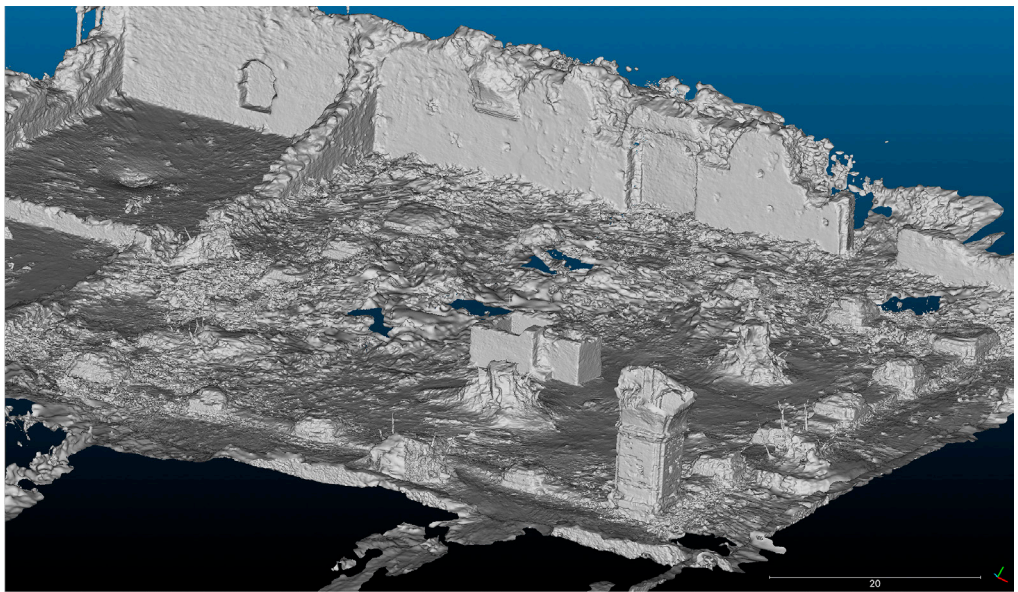
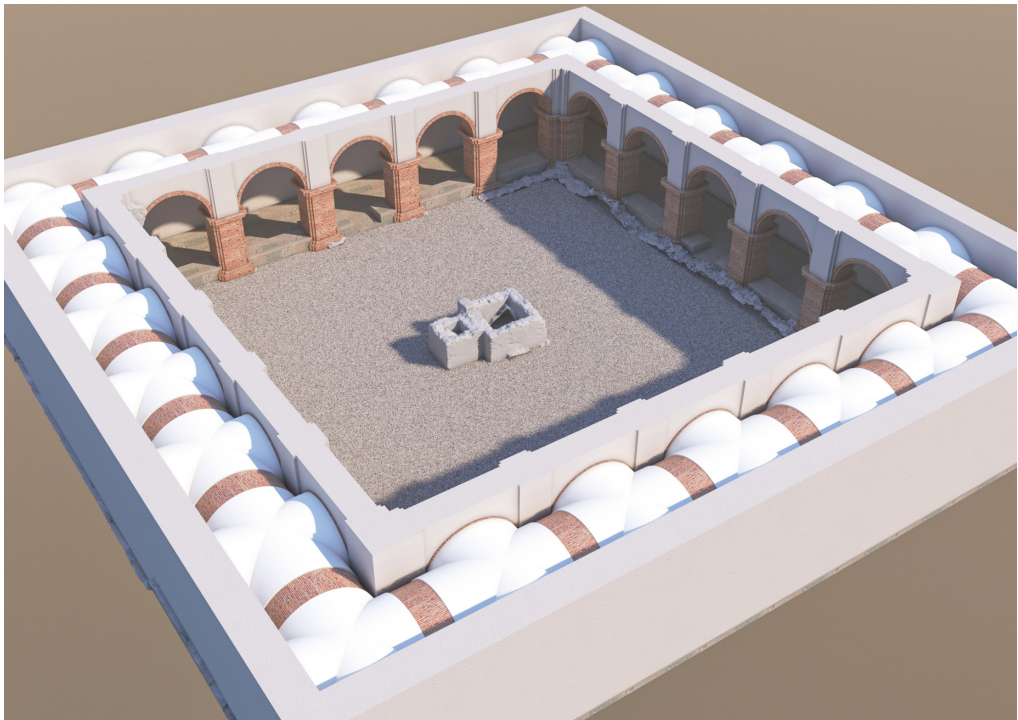
a

b

Fig. 09 a-b Information about vaults reconstructed from the 3D survey: trace of the arches, connection points of the vaults on the angular pillar (elaboration by the authors)

upper part of the corner pillar, it was possible to deduce the shape and dimensions of the roof in this part of the cloister, which was modelled as a series of cross vaults between transverse semi-circular arches built with bricks. For the modelling of these vaults, the "in situ" mass technique was used, formed by the intersection of two half cylinders, and the covering "per face" (Figs. 09b, 10). The calculation to reconstruct the complex was mainly based on photogrammetric data: having available the bases of the pillars it was possible to obtain the distance between them, the corner pillar and the traces of the arches on the back wall made it possible to calculate the light of the vaults and their geometry, as the attacks of the base of the vaults can be deduced from the remains found.

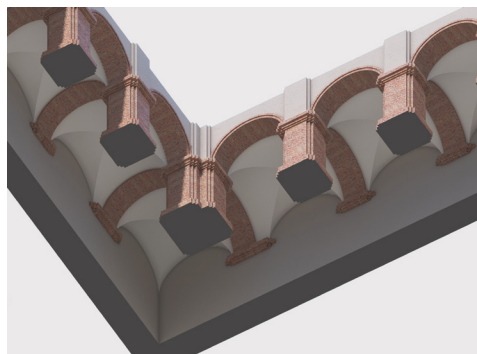



Fig.10 The roof vaults (elaboration by the authors)

Fig. 11 Reconstruction of the complex in its entirety and indication of the materials (elaboration by the authors)

As for the materials, the brick was used as the main element for the bases, the shaft and the capital of the pillars and arches of the facade and of the transverse ribs of the vaults. For the walls, made of masonry and the cross vaults, a random-coloured plaster was considered as the external material, which could be lime mortar in the case of the walls (Fig. 11).
The texture of the reconstructed model was determined based on both the remains visible on the ground, which specified the use of bricks for the construction, and on a hypothetical basis, following the requests of the Superintendency. The brick texture was applied using a generic one and it was decided to use two different characterizations in order to show the different display possibilities. The graphic representation of the floor, on the other hand, is entirely hypothetical and was decided by the superintendent technicians.

## Conclusions

The integration of the reality-based survey for the documentation of Cultural Heritage and the mathematical reconstruction of the detected structures is of enormous importance for the enhancement of ancient sites. This is even more important when these sites are located in areas that are difficult to reach or have economic problems in preparing tourist routes equipped to make the places visitable. Using the 3D model of the real world, the reconstruction was able to be based on accurate metric data that provided fundamental elements: in fact, difficult mathematical calculations were not needed to create the roof, for example, because having remains in situ, the relief of them provided the 3D graphic base on which to prepare the reconstruction. Proceeding with the photogrammetric survey of the area, the subsequent reconstruction was able to be based on an accurate and metric data of the real, which made it possible to facilitate the analysis of the remains and the understanding of the structure in elevation, as well as the mathematical calculations and the definition of the covers. It should be emphasized that in this case the advantage was taken from the presence of an angular pillar and the footprints of the covering arches on a perimeter wall. Surely, the use of photogrammetric survey has allowed to speed up the process. Naturally, some parts have been hypothesized, but always following the indications of the superintendent technicians who have provided the most appropriate data for their hypotheses.

The distinctions between detected data, data deduced from metric information and hypothesized data will then be highlighted in the future if and when the model is used for the tourist route. The reconstruction process will be explained and the processes that led to the final result will be clarified. Future work will regard the better modelling of the reconstructed structure especially related to the texture of the entire building, based on real data and eventual new information by the technicians of the superintendence.

#### References


Böhler, W., Marbs, A. (2004). *3D scanning and photogrammetry for heritage recording: a comparison*. Proceedings of 12th Int. Conf. on Geoinformatics, 7-9 June 2004, Gävle, Sweden, 2004, pp. 291-298

Costamagna, Liliana, and Paolo Visonà, eds. (1999). *Oppido Mamertina: Calabria, Italia: ricerche archeologiche nel territorio e in contrada Mella*. Gangemi Editore, Roma.

El-Hakim, S., Gonzo, L. Voltolini, F., Girardi, S., Rizzi, A., Remondino, F., Whiting, E. (2007) *Detailed 3D modeling of castles,* International Journal of Architectural Computing, Vol. 5(2), 2007, pp. 199-220.

Guarnieri, A., Pirotti, F., Pontin, M. & Vettore, A. (2005). *Combined 3D surveying techniques for structural analysis applications*. International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 36, 6.

Guidi, G., Remondino, F., Russo, M., Menna, F., Rizzi, A., Ercoli, S. (2009). *A Multi-Resolution methodology for the 3D modelling of large and complex archaeological areas.* International Journal of Architectural Computing, Vol. 7(1), pp. 39-55

Guidi, G., Russo, M., Beraldin, J.A. (2010). *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, New York, Milano: Mcgraw Hill.

Lenormant, F. (1976). *La Magna Grecia*, Chiaravalle Centrale, II, p. 27

Liberti, R. (2003). *Momenti e figure nella storia della vecchia e nuova Oppido*-VI-Quaderni Mamertini n. 45, Litografia Diaco snc, Bovalino (RC)

Mikhail, E. M., Bethel, J.S., McGlone, J. C. (2001). *Introduction to modern photogrammetry*, John Wiley & Sons, inc.

Remondino, F. (2011). *Heritage Recording and 3D Modelling with Photogrammetry and 3D Scanning.* Remote Sensing, Vol. 3, pp. 1104-1138

Remondino, F., El-Hakim, S. (2006). *Image-based 3D Modelling: a Review*. Photogrammetric Record, 21 (115), 2006, pp. 269-291.

Roma, G., Coscarella, A., Gallo, P., La marca, A., Lanza, G. (1998). *Oppido Mamertina (RC): la cattedrale di Oppido Vecchio (campagna di scavo 1996*, Archeologìa postmedievale società ambiente produzioni n. 2, pp. 75-106.

Voltolini, F., El-Hakim, S., Remondino, F., Girardi, S., Rizzi, A., Pontin, M., Gonzo, L. (2007). *Digital Documentation of Complex Architectures by Integration of Multiple Techniques – The case Study of Valer Castle.* Videometrics IX (San Diego, USA, 29-30 gennaio 2007) Proc. SPIE-IS&T Electronic Imaging, Vol. 6491, 2007.



#### Authors
*Sara Gonizzi Barsanti,* Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, sara.gonizzibarsanti@unicampania.it
*Santiago Lillo Giner,* Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universitat Politècnica de València, España, sanlilgi@ega.upv.es



*To cite this chapter*: Gonizzi Bersanti Sara, Lillo Giner Santiago (2022). Oppido Mamertina in 3D: dalla fotogrammetria alla ricostruzione digitale/ Oppido Mamertina in 3D: from photogrammetry to digital reconstruction. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers.* Milano: FrancoAngeli, pp. 2074-2089.



Isbn 9788835141938